

УДК 621.9.203

Л.П. Федотьева, ас.*Кременчуцький державний політехнічний університет ім. Михайла Остроградського***В.С. Надєїн, доц., канд. техн. наук***Кіровоградський національний технічний університет*

Визначення раціональних енергетичних параметрів керованого ротаційного різання високомарганцевих сталей

У статті описано передумови досліджень енергетичних параметрів процесу керованого процесу ротаційного різання сталі 110Г13Л.

ротаційне різання, ефект знеміцнення, кінематичний коефіцієнт, високомарганцева сталь

Вступ.

Сталі аустенітного класу, типовим представником яких є сталь 110Г13Л (сталь Гадфільда), мають обмежене використання через складнощі, пов'язані з їхньою механічною обробкою.

В роботах [1-3] було встановлено можливість створення прийнятних для практики умов обробки таких матеріалів з використанням ефекту Баушингера в процесі ротаційного різання. В роботах було встановлено неоднозначність впливу відхилення напрямку вектору швидкості різання від напрямку вектора швидкості результуючого руху різання на ступінь знеміцнення і наклеп поверхневого шару оброблюваної деталі. Це вимагає подальших теоретичних та експериментальних досліджень щодо встановлення взаємозв'язку між технологічними та якісними показниками процесу ротаційного різання аустенітних сталей.

Мета роботи. Визначення раціональних енергетичних параметрів процесу керованого ротаційного різання високомарганцевих сталей.

Матеріал і результати дослідження.

В результаті виконання попередніх теоретичних досліджень було встановлено, що для максимального прояву знеміцнення поверхневого шару на поверхні різання за рахунок деформаційної анізотропії (ефекту Баушингера) необхідно досягти значень кута χ між напрямком текстури при прямому і оберненому ротаційному різанні, який дорівнює (рис.1) [2,3]

$$\chi = \delta^+ + \delta^- = 90^\circ, \quad (1)$$

де δ^+ , δ^- – кути нахилу текстури при прямому і оберненому різанні.

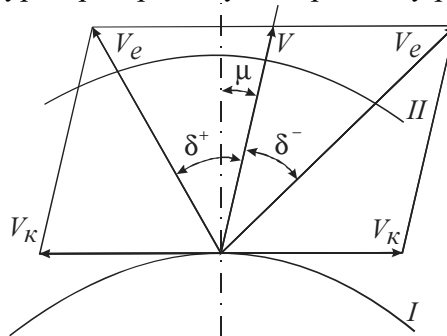


Рисунок 1 – Положення кутів нахилу текстури в площині різання

Аналіз наведених у попередніх роботах [2,3] даних свідчить про більш інтенсивний вплив окружної швидкості різальної чашки V_k на кут нахилу текстури поверхневого шару поверхні різання при прямому δ^+ ніж δ^- при оберненому примусовому обертанні різальної чашки. Причому, при зростанні глибини різання кут δ^+ збільшується інтенсивніше, а кут δ^- – повільніше.

Однак внаслідок зростання відхилення напрямку швидкості результуючого руху різання від напрямку швидкості V_k (збільшення кінематичного коефіцієнту $K = V_k/V$) буде зростати ступінь та глибина наклепаного шару [2-4].

Неоднозначність впливу відхилення напрямку вектору дійсної швидкості різання від напрямку вектора швидкості деталі (кінематичного коефіцієнту K) потребує дослідження. Для визначення впливу кінематичного коефіцієнту K на ступінь знеміцнення і наклеп поверхневого шару оброблюваної деталі було спроектовано та виготовлено експериментальний пристрій (рис.2), що складається з ротаційного різця 1, корпусу устаткування 2, електродвигуна 3. Примусове обертання різальної пластини ротаційного різця відбувається від електродвигуна через муфту 4. Пристрій встановлюють на місце стандартного різцетримача токарно-гвинторізного верстата 16K20.

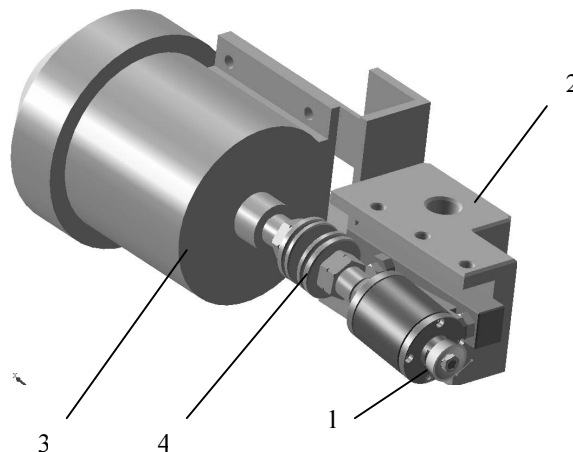


Рисунок 2 – Експериментальний пристрій

Керування швидкістю та напрямком обертання різальної чашки ротаційного різця відбувається за допомогою частотного перетворювача.

У зв'язку з тим, що було б некоректно порівнювати сили різання при звичайному різанні і при керованому ротаційному [4], було прийнято рішення щодо порівняння ефективності цих способів за енергетичним параметром. За такий параметр прийнято потужність, що витрачається при звичайному різанні і при керованому ротаційному. Це можна зробити за допомогою порівняння сумарної потужності двигунів головного руху верстату і приводу обертання ротаційного різця, що витрачається у процесі ротаційного різання, і потужності двигуна головного руху верстату, що витрачається на процес звичайного різання за виключенням потужностей, що витрачаються при холостому русі приводів.

Аналіз даних, наведених у роботах [2,3] свідчить про те, що існує область значень параметрів процесу різання, в якій може найбільше виявитись ефект знеміцнення Баушингера. Для визначення меж цієї області потрібно перейти від абсолютних значень параметрів зміцнення (ΔH – ступеня наклепу) і знеміцнення (кутів χ, δ^+, δ^-) до відносних показників: відносного знеміцнення

$$\theta_p = \delta^{+(-)} / 90^\circ \quad (2)$$

та відносного зміцнення (параметру наклепу)

$$\theta_H = \frac{\Delta H - \Delta H_{\min}}{\Delta H_3}, \quad (3)$$

де ΔH – плинне значення ступеня наклепу;

ΔH_3 – ступінь наклепу при звичайному різанні ($K=0$);

ΔH_{\min} – мінімально можлива ступінь наклепу ($K = -0,2$).

Характер зміни цих параметрів наведено на рис. 3.

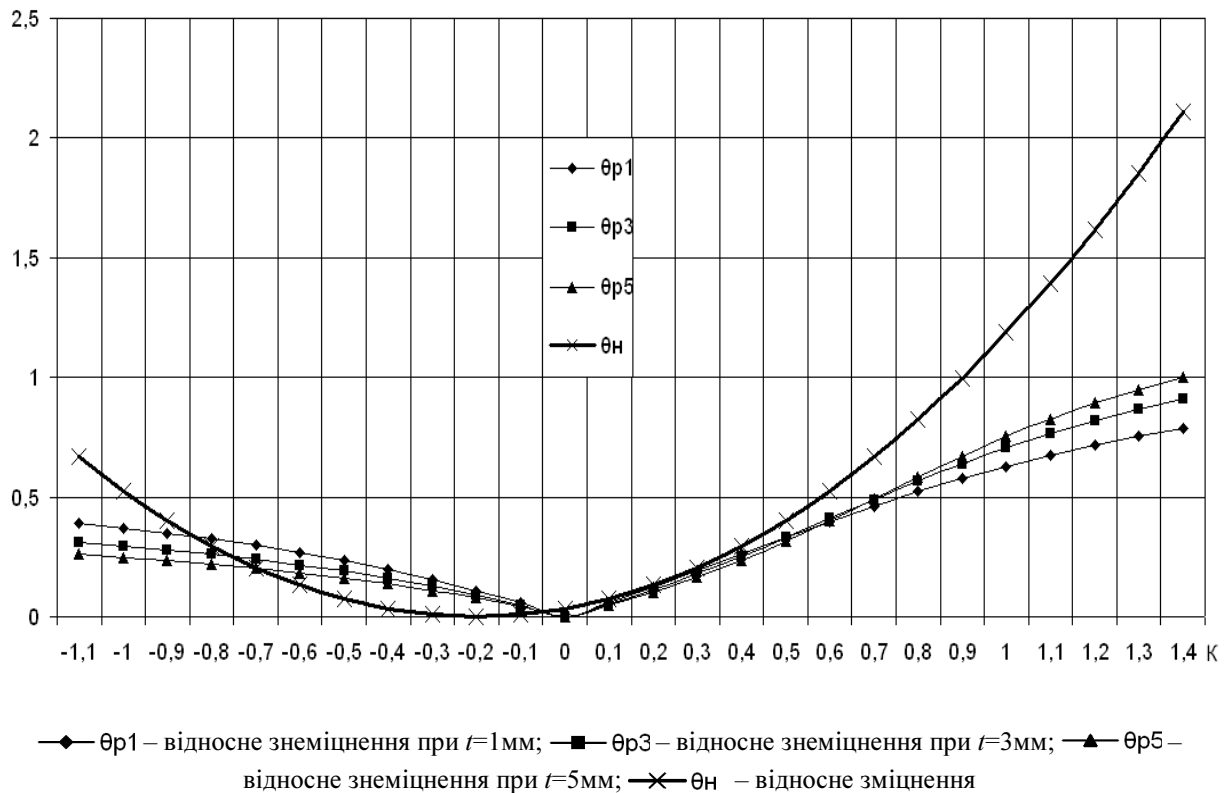


Рисунок 3 – Характер зміни параметрів відносного зміцнення та відносного наклепу (параметру зміцнення)

Досліджувана область обмежена значеннями кінематичного коефіцієнту K , при яких інтенсивність відносного наклепу перевищує інтенсивність відносного зміцнення.

Для параметрів режиму різання:

– глибини різання $t=1 \div 3$ мм;

– швидкості деталі $V_{det} = 100$ м/хв (швидкості інструменту відносно поверхні деталі V_{instr});

– подачі $s=0,5$ мм/об.

виявилось, що ця область обмежена значеннями кінематичного коефіцієнта $K \approx -0,25 \div +0,32$.

Головним показником ефективності процесу керованого ротаційного різання будемо вважати сумарну потужність, що витрачається на процес ротаційного різання.

Відомо, що потужність двигуна головного руху верстату, що споживається, прямо пропорційна потужності, що витрачається на процес різання [5], а споживана потужність двигуна приводу обертання ротаційного різця прямо пропорційна

потужності, що витрачається на процес обертання ротору різця і, в свою чергу, від сили тертя на передній і частково на задній поверхнях ротаційного різця [6].

Відповідно до висновків, наведених у попередніх роботах [2, 3], доцільно досягати проявів ефекту знеміцнення Баушингера більше за рахунок обертання різальної пластини в прямому напрямку, тобто при додатних значеннях кінематичного коефіцієнту K . А такі значення кінематичного коефіцієнту можна отримати при мінімальних енергетичних витратах при примусовому обертанні ротаційного різця під дією сил різання. Тому дослідження проявів ефекту знеміцнення і зниження сумарних потужностей двигунів головного руху верстату і приводу обертання ротаційного різця доцільно вести за таких умов: перший прохід при додатних значеннях кінематичного коефіцієнту K , що обумовлені самостійним обертанням ротаційного різця під дією сил різання, а другий – при від’ємних значеннях кінематичного коефіцієнту K , що обумовлені примусовим обертанням ротаційного різця від приводу обертання ротаційного різця.

За таких специфічних умов дослідження необхідно вести при сталих значеннях V – швидкості різання. На основі даних, отриманих із літературних джерел [5], дослідження будемо вести при $V=50\text{м/хв}$.

На основі апріорних даних про характер відшукуваних залежностей від основних параметрів керованого процесу ротаційного різання прийняли наступний вигляд залежності сумарної потужності керованого ротаційного різання при умовах дослідження, що описані вище:

$$N_{\Sigma} = C_p K^{x_p} s^{y_p} t^{z_p}, \quad (4)$$

де N_{Σ} – сумарна потужність керованого ротаційного різання, кВт;

C_p – постійний коефіцієнт;

K – кінематичний коефіцієнт;

s – подача, мм/оберт;

t – глибина різання, мм.

Рівняння (4) прийнято за досліджувану математичну модель і розроблено повний факторний експеримент (ПФЕ) типу 2^k . Однак отримати значення показників ступеня при факторах на основі плану ПФЕ цього типу не вбачалось можливим. Тому проведено перетворення залежності (4) шляхом логарифмування обох частин рівняння

$$M\{y\} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3, \quad (5)$$

де $M\{y\}$ – істинна зміна сумарної споживаної електроенергії двигуну головного руху верстату та двигуну приводу обертання ротаційного різця в логарифмічному мірилі;

x_1, x_2, x_3 – логарифми відповідно K, s, t ;

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ – коефіцієнти, оцінки яких повинні бути визначені.

Приведене рівняння запишемо у вигляді

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3, \quad (6)$$

де \hat{y} – оцінка $M\{y\}$ за рівнянням (6);

b_0, b_1, b_2, b_3 – оцінки коефіцієнтів $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ відповідно.

Для визначення коефіцієнтів цього рівняння використовували ПФЕ типу 2^3 . Перетворення незалежних перемінних \tilde{x}_i до безрозмірних перемінних x_i проводили за допомогою рівняння перетворення, де за одиницю нового масштабу прийнято вираз $1/2(\ln \tilde{x}_{i\max} - \ln \tilde{x}_{i\min})$ [7]

$$x_i = \frac{2(\ln \tilde{x}_i - \ln \tilde{x}_{i\max})}{\ln \tilde{x}_{i\max} - \ln \tilde{x}_{i\min}} + 1. \quad (7)$$

Результати кодування змінних приведені в табл. 1.
Матриця планування ПФЕ типу 2^3 стандартна [7].

Таблиця 1 – Кодування змінних факторів

Рівень факторів	K		s, мм/об.		t, мм	
	x_1	$\ln x_1$	x_3	$\ln x_3$	x_4	$\ln x_4$
Верхній (+)	0,3	-1,204	0,3	-1,204	3	1,099
Основний (0)	0,2	-1,609	0,2	-1,609	2	0,693
Нижній (-)	0,1	-2,303	0,1	-2,303	1	0

Для розрахунку необхідного числа досліджень по визначенню сумарної потужності керованого ротаційного різання було десять разів виміряне та визначене значення потужності, що витрачається у процесі точіння ротаційним різцем заготовки з сталі 110Г13Л на верстаті 16К25 на таких режимах різання: $t=2$ мм, $s=0,2$ мм/об., $V=50$ м/хв., $V_k=10$ м/хв., довжина різання $L=100$ мм. Параметри ротаційного різця, що використовувався при дослідженнях, наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Параметри ротаційного різця

Параметр різця	Передній кут γ°	Задній кут α°	Діаметр чашки $d_{p.n.}$, мм	Матеріал пластини
Значення параметру	0	8	32	ВК8-УН

Проведено перевірку нормальності розподілу вимірюваного параметру N_Σ . З цієї метою застосовували критерій Шапіро-Уїлка W [8]. Розташовуємо дані по значенню N_Σ у ранжований ряд (табл. 3).

Обчислили дисперсію за формулою [7]

$$S^2 = \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}, \quad (8)$$

де x_i - середнє значення N_Σ у i -му досліді;

n - загальне число спостережень.

Прийняли $k = \frac{n}{2} = \frac{10}{2} = 5$. Потім обчислили b за формулою

$$b = a_n(x_n - x_1) + a_{n-1}(x_{n-1} - x_2) + \dots + a_{n-k+1}(x_{n-k+1} - x_k), \quad (9)$$

де a_{n-i+1} для $i=1, \dots, k$ беруться з табл. IX [8].

Розраховували критерій [7]

$$W_{розр} = \frac{b^2}{S^2}. \quad (10)$$

Результати обчислень зведені в табл.4.

Далі порівняли $W_{розр}$ із табличним значенням розподілу цього критерію (табл. IX у [8]). Обчислене значення перевищує табличне, отримане для $n=10$. Отже, гіпотеза про нормальний розподіл підтвердилась.

З огляду на те, що розподіл можна вважати нормальним, на підставі критерію Стюдента визначили необхідне мінімальне число досліджень n [7] за формулою

$$n = \frac{t_{кр}^2 S^2}{\Delta x^2}, \quad (11)$$

де $t_{кр} = 2,31$ – коефіцієнт Стюдента;

$\Delta x = k\bar{x}$ – помилка визначення \bar{x} – середньої арифметичної величини;

$k=0,2$ – коефіцієнт, що показує частку граничної помилки від середньої арифметичної величини.

Таблиця 3 – Значення сумарної потужності ротаційного різання

Номер дослідів	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Сумарна потужність x_i , кВт	0,35	0,36	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40	0,40	0,41	0,42	$\sum x_i = 3,84$
x_i^2	0,1225	0,1296	0,1296	0,1369	0,1444	0,1521	0,16	0,16	0,1681	0,1764	$\sum x_i^2 = 1,4796$

Після підстановки усіх відповідних значень у залежність (11) знайшли, що необхідне мінімальне число вимірів у нашому випадку дорівнює $n=4$.

Таблиця 4 – Результати обчислень

i	a_{n-i+1}	b	b^2	S_2	$W_{розр}$	$W_{табл}$
1	0,5739	0,069263	0,0047974	0,00503	0,9519	0,938
2	0,3291					
3	0,2141					
4	0,1224					
5	0,0399					

Висновки. В результаті проведеної роботи встановлено:

а) запропонована статистична модель процесу керованого ротаційного різання адекватно описує реальний процес обробки сталі 110Г13Л;

б) встановлено раціональні межі зміни параметрів процесу керованого ротаційного різання і послідовність роботи різальних чашок, що дозволяє досягти максимального знеміцнення поверхневого шару матеріалу в зоні різання;

в) запропонована статистична модель процесу керованого ротаційного різання може бути використана при аналізі обробки інших марок високо марганцевих сталей при мінімальній кількості вимірів.

Список літератури

1. Федотьєва Л.П. Сучасний стан і перспективні методи обробки високомарганцевих сталей / Федотьєва Л.П. // Вісник КДПУ. – 2006. – №6 (41) Ч1. – С. 31–36.
2. Федотьєва Л.П. Моделювання керованого процесу ротаційного різання / Федотьєва Л.П. // Вісник КДПУ. – 2007. – № 2 (43) Ч2. – С.72–76.

3. Федотьєва Л.П. Визначення меж раціонального використання керованого процесу ротаційного різання / Федотьєва Л.П. // – Харьков : «ХПИ», Резание и инструмент в технологических системах. Международный научно-технический сборник. – 2008. – №75 – С.420-427.
4. Ящерицын П.И. Ротационное резание материалов / Ящерицын П.И., Борисенко А.В., Дривотин И.Г., Лебедев В.Я. – Мн.: Наука и техника. – 1987. – С.229.
5. Режимы резания металлов : Справочник : / [Изд. 3-е, переработанное и дополненное. Под ред. Барановского Ю.В.] – М.: Машиностроение, 1972. – 409с.
6. Бобров В.Ф. Резание металлов самовращающимися резцами / Бобров В.Ф., Иерусалимский Д.Е. – М.: Машиностроение, 1972. – 112с.
7. Кацев П.Г. Статистические методы исследования режущего инструмента / Кацев П.Г. – М.: Машиностроение, 1974. – 240с.
8. Хан Г. Статистические модели в инженерных задачах / Хан Г., Шапиро С. – Пер. с англ. - М.: Мир, 1969.-395с.

В статье описаны предпосылки исследований энергетических параметров процесса управляемого ротационного резания стали 110Г13Л.

Pre-conditions of researches of power parameters of process of the guided rotary cutting of steel of 110Г13Л are described in the article.